

## 論文内容の要旨

博士論文題目 メモリ・コンシステンシ・モデルの形式的仕様記述と検証に関する研究  
氏名 高田 司郎

本論文は、分散共有メモリシステムの振る舞いを定義したメモリ・コンシステンシ・モデルについて、田口と荒木が提案した、 $Z$ とvalue-passing CCS (Calculus of Communicating Systems) を統合した形式手法を用いて、当該モデルの実現の形式的な仕様記述とその検証に関する研究をまとめたものであり、序論・結論を含め八つの章から構成されている。

第一章では、本論文の背景、目的を述べるとともに、本論文内容を概説している。

第二章では、主要なメモリ・コンシステンシ・モデルについて概説するとともに、本論文が対象としたコーザル・コンシステンシ・モデルとリリース・コンシステンシ・モデルの位置づけを示している。

第三章では、本論文で用いる形式的仕様記述言語  $Z$  とプロセス代数CCS について概説するとともに、田口と荒木が提案した、 $Z$ と value-passing CCSを統合した形式手法について概説している。この形式手法では、 $Z$  表記法と value-passing CCSの統合、プロセスの展開と状態遷移とが同時に記述できる状態遷移に基づく CCS 意味論 (以下、S-CCSと呼ぶ) や遷移規則などが紹介されている。

第四章では、まず、本論文で採用する共有メモリ型並列計算機モデルを定義し、その計算機モデルにおけるプログラム順序、実行履歴、逐次実行列などを、S-CCSを用いて記述している。次に、コーザル・コンシステンシ・モデルとリリース・コンシステンシ・モデルに関して、それぞれの定義を述べ、S-CCS を用いて形式的に定義している。

第五章では、コーザル・コンシステンシ・モデルとリリース・コンシステンシ・モデルの実現について、それぞれ形式的な仕様記述を行い、S-CCS の遷移規則を用いた展開例をそれぞれ示している。これらメモリシステムの実現において、状態と操作で表現される機能は  $Z$  を用い、通信による同期などの並行性の仕様記述は value-passing CCSを用いるという、システム分析に関する観点の違いを、二つの表記法を用いて分離して記述している。また、因果先行関係の比較には弱ベクトル時計を、メモリアクセスの同期についてはセマフォを用いている。

第六章では、コーザル・コンシステンシ・モデルとリリース・コンシステンシ・モデルの検証をそれぞれ行っている。検証にあたっては、証明の対象となっている命令間のトレースを、遷移規則を適用して S-CCS を用いて記述している。次に、このプロセス展開と同時に遷移したローカルメモリ、各種キュー、弱ベクトル時計などの状態遷移を  $Z$  の操作スキーマの記述から求めて検証を行っている。つまり、検証においても、プロセス展開と状態遷移に分離して行っている。

第七章では、並列分散システムの形式手法についての関連研究を述べている。

第八章では、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題について述べている。

氏名	高田 司郎
----	-------

## 論文審査結果の要旨

本論文は、分散共有メモリシステムの振る舞いを定義したメモリ・コンシステンシ・モデルとそれらの実現に関して、 $Z$ 表記法とvalue-passing CCS(Calculus of Communicating Systems)を統合した形式手法を用いて、形式的仕様記述とその検証を行ったものである。

本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 田口と荒木が提案した「状態遷移に基づく CCS意味論」の一つの操作を有限長の操作のトレースに自然に拡張した。そして、任意の命令間のトレースに関するプロセス展開と状態遷移の形式的な記述を可能とすると共に、それらの命令間で、ある命令が実行されたかどうかを、その命令がトレース列に含まれるか否かという表記で記述した。これにより、本論文で定義した分散共有メモリ型並列計算機モデル上の実行履歴に関するプログラム順序、および、逐次実行列に関するプログラム順序や有効性などを形式的に記述することを可能とした。

2. メモリ・コンシステンシ・モデルを二分する代表的なモデルであるコーザル・コンシステンシ・モデルとリリース・コンシステンシ・モデルが満足すべきそれぞれの条件を、上記の分散共有メモリ型並列計算機モデルを使って形式的に記述した。それぞれのモデルの制約条件は、分散共有メモリ型並列計算機モデル上の実行履歴や逐次実行列が満足すべき条件として、従来、代数や自然言語で定義されていた条件を全て形式的に記述した。これにより、上記コンシステンシ・モデルの検証を容易にした。

3. 上記の二つのメモリ・コンシステンシ・モデルを満足する分散共有メモリの実現に関しても形式的に記述した。特に、これらの分散共有メモリの機能的な仕様は  $Z$  を用い、並行性の仕様は value-passing CCSを用いて分離して記述することで、分散システム的设计においても視点を分けて設計した方が容易なことを示した。また、これら実現の記述において、分散システムの基本的な要素である同報通信、複数の入出力キュー内の要素に関する制約、および、同期変数を持った同期処理などを value-passing CCS と  $Z$  を組み合わせることで容易に記述できることを示した。

4. 上記の二つのメモリ・コンシステンシ・モデルについて、それぞれの実現である分散共有メモリシステムが、それぞれのメモリ・コンシステンシ・モデルを満足しているか否かを検証した。また、本形式手法を用いれば、検証においても、プロセス展開と状態遷移に分離して行うことができることを示した。

以上のように、本論文は、分散共有メモリシステムの振る舞いを定義したメモリ・コンシステンシ・モデルとそれらの実現に関して、形式手法を用いて、形式的仕様記述とその検証を行ったものであり、計算機アーキテクチャおよび形式的手法の分野において、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。